

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-204464  
 (43)Date of publication of application : 25.07.2000

(51)Int.CI. C23C 8/22  
 C21D 1/06  
 C21D 1/18  
 C21D 9/32

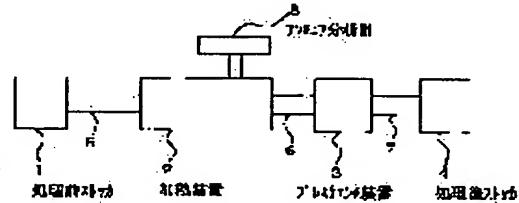
(21)Application number : 11-005694 (71)Applicant : KOMATSU LTD  
 (22)Date of filing : 12.01.1999 (72)Inventor : HAMASAKA NAOHARU  
 TAKAYAMA TAKEMORI

## (54) SURFACE TREATED GEAR, ITS PRODUCTION AND PRODUCING DEVICE THEREFOR

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a surface treated gear of low distortion having practically sufficient strength, and to provide a method and device for producing the same.

SOLUTION: A steel member subjected to stock refining and machining is heated to an austenitic temp. region of 850 to 900° C in a heating device 2 and is held in the temp. region for  $\geq 1$  hr, in the process of the holding, carburizing gas only or a gaseous mixture of carburizing gas and ammonia is introduced into a furnace, and, after this holding, it is subjected to quench hardening, e.g. by a press quenching device 3.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-204464  
(P2000-204464A)

(43)公開日 平成12年7月25日 (2000.7.25)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード(参考)
C 2 3 C 8/22		C 2 3 C 8/22	4 K 0 2 8
C 2 1 D 1/06		C 2 1 D 1/06	A 4 K 0 4 2
1/18		1/18	C
9/32		9/32	T
			B

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 9 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号	特願平11-5694	(71)出願人 000001236 株式会社小松製作所 東京都港区赤坂二丁目3番6号
(22)出願日	平成11年1月12日 (1999.1.12)	(72)発明者 浜坂 直治 大阪府枚方市上野3丁目1-1 株式会社 小松製作所生産技術開発センタ内
		(72)発明者 高山 武盛 大阪府枚方市上野3丁目1-1 株式会社 小松製作所生産技術開発センタ内
		(74)代理人 100097755 弁理士 井上 効
		F ターム(参考) 4K028 AA01 AA03 AB06 4K042 AA18 DA01 DA02 DA06

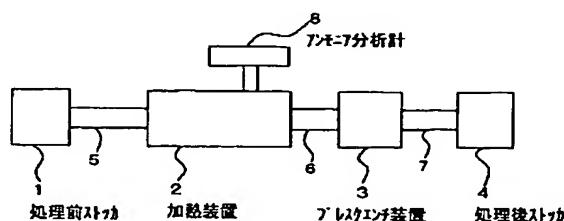
(54)【発明の名称】 表面処理歯車とその製造方法、製造装置

(57)【要約】

【課題】 低歪みで、実用上十分な強度を有する表面処理歯車とその製造方法、製造装置を得る。

【解決手段】 素材調質および機械加工が施された鋼部材を加熱装置2内で850~900°Cのオーステナイト温度域まで加熱し、その温度域で1時間以上保持し、その保持中に浸炭性ガスのみ、あるいは浸炭性ガスとアンモニアとの混合ガスを炉内に導入し、この保持後に例えばプレスクエンチ装置3により焼入れ硬化させる。

連続式浸炭プレス焼入れ装置の構成例



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 鋳造または鍛造により製造され、素材調質および機械加工が施された鋼部材を炉内でオーステナイト温度域まで加熱し、その温度域で保持した後、焼入れ硬化させる表面処理歯車の製造方法であって、前記オーステナイト温度域を850～900°Cとし、かつ保持時間を1時間以上とし、その保持中に浸炭性ガスを炉内に導入することを特徴とする表面処理歯車の製造方法。

【請求項2】 鋳造または鍛造により製造され、素材調質および機械加工が施された鋼部材を炉内でオーステナイト温度域まで加熱し、その温度域で保持した後、焼入れ硬化させる表面処理歯車の製造方法であって、前記オーステナイト温度域を850～900°Cとし、かつ保持時間を1時間以上とし、その保持中に浸炭性ガスとアンモニアとの混合ガスを炉内に導入することを特徴とする表面処理歯車の製造方法。

【請求項3】 前記焼入れが、プレスクエンチにより行われる請求項1または2に記載の表面処理歯車の製造方法。

【請求項4】 前記焼入れ硬化後または焼入れ焼戻し後に表面にショットビーニングが施される請求項1～3のいずれかに記載の表面処理歯車の製造方法。

【請求項5】 処理品を850°C以上に加熱でき、かつ浸炭性ガスおよびアンモニアが導入できる密閉性に優れた加熱装置と、処理品を拘束しながら焼入れするプレスクエンチ装置と、前記加熱装置からプレスクエンチ装置へ処理品を搬送する搬送装置を備えることを特徴とする表面処理歯車の製造装置。

【請求項6】 請求項1～3のいずれかに記載の製造方法により製造される表面処理歯車であって、歯元表面硬さがH<sub>v</sub> 500以上、歯面表面硬さがH<sub>v</sub> 550以上、歯面表面から0.2mmの範囲の硬さがH<sub>v</sub> 500以上で、歯車ベース円上の肉厚中心部の硬さがH<sub>v</sub> 300以上であることを特徴とする表面処理歯車。

【請求項7】 請求項2または3に記載の製造方法により製造される表面処理歯車であって、表面から0.1mm以上の範囲内で窒素の浸入が認められ、旧オーステナイト結晶粒サイズがJIS-G0551の粒度番号9番以上であることを特徴とする表面処理歯車。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、表面処理歯車とその製造方法および製造装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 一般に、歯車部材は熱処理を施されることが多く、この熱処理によって表面部や内部の金属組織を強化するとともに、硬さを向上させてその耐久性を確保するようにされている。特に、浸炭焼入れ処理は、部材表面からの炭素の浸入により表面近傍の炭素量を増加させて焼入れ処理が行われることから、硬いマルテン

サイト組織による表面硬化が達成され、高い耐摩耗性と曲げ疲労強度などが得られることから、従来から広く利用されている。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、前記浸炭処理には以下に示すような焼入れ歪みの問題および表面品質上の問題がある。

## (1) 焼入れ歪み

浸炭焼入れ処理では、部材表面部に0.8wt%程度の炭素を含んだマルテンサイト変態を伴うため、変態膨張もしくは焼入れ時の熱収縮などにより部材が変形し、炭素量の増加とともにその変形量も大きくなる傾向にある。また、浸炭処理は、通常、930°C以上の高温で数時間以上処理されることが多いため、高温の炉内に保持されることに伴う部材の変形の問題もある。なお、このような熱処理歪みを少なくするためには、金型にて部材を拘束しながら焼入れを行うプレスクエンチ工程を併用することも行われているが、このようにした場合には、浸炭工程と再加熱プレスクエンチ工程とが必要となって生産性が悪くなるという問題点がある。

## (2) 表面品質

一般に良く利用されているガス浸炭処理ではブルドワ(Boudouard)のガス反応( $2\text{CO} \rightleftharpoons \text{C} + \text{CO}_2$ )に従い、浸入炭素が供給されるが、そのガス雰囲気中には酸化性ガスであるCO<sub>2</sub>や水蒸気が混在しており、これが処理部材の表面を酸化させてしまう。特に、浸炭用鋼の焼入れ性を確保するために配合されている合金元素であるSi, Cr, Mnはこの酸化性ガスと反応して容易に酸化物を生成し、それが主に結晶粒界に析出するため、オーステナイト中のそれら焼入れ性向上成分が不足して、最表面がマルテンサイトにならずに、不完全焼入れ組織となって最表面に硬さの低い領域(浸炭異常層)が20ミクロン程度生成される。この浸炭異常層が部品強度を低下させることになる。

【0004】 本発明は、このような問題点を解消するためになされたもので、低歪みで、しかも実用上十分な強度を有する表面処理歯車とその表面処理歯車を簡便に得る製造方法、製造装置を提供することを目的とするものである。

## 【0005】

【課題を解決するための手段および作用・効果】 前記目的を達成するために、第1発明(請求項1に係る発明)による表面処理歯車の製造方法は、鋳造または鍛造により製造され、素材調質および機械加工が施された鋼部材を炉内でオーステナイト温度域まで加熱し、その温度域で保持した後、焼入れ硬化させる表面処理歯車の製造方法であって、前記オーステナイト温度域を850～900°Cとし、かつ保持時間を1時間以上とし、その保持中に浸炭性ガスを炉内に導入することを特徴とするものである。

【0006】この第1発明においては、鍛造もしくは铸造等により製造された鋼素材に必要に応じて調質が行われ、その後例えばリングギアのような部材に機械加工される。この後、この部材がオーステナイト温度域まで加熱され、その温度域にて1時間以上保持される。この温度域は、材料成分系により若干異なるが、850°C以上、900°C未満とされる。この保持温度が850°C未満になると、低炭素鋼の場合には焼入れ処理の前提であるオーステナイト一層の組織にならない。一方、前記保持温度が900°C以上になると、焼入れ歪みや保持による歪み(ダレ)が大きくなり易い。また、この保持温度が上昇するにつれて結晶粒が粗大化するが、980°C以上ではその粗大化が特に顕著であり、これが疲労強度を低下させる要因になる。前記温度域に加熱保持する間、表面の焼入れ硬さを上げることを目的として、炉中には浸炭性ガスが導入される。この浸炭性ガスとしては、炭化水素系ガスから変成させたCOを主成分とする吸熱型ガスや、アルコールなどを滴下してガス化したものを使用しても良い。また、炭化水素ガスとアルコールとを併用しても良い。前記保持時間を1時間以上としたのは、処理温度が比較的低いために、炭素や窒素の拡散深さが浅く、必要な歯元最表面の硬化層を確保するためである。

【0007】本発明に係る表面処理歯車の製造方法によれば、必要とされる歯元硬さと歯面硬さとを有する歯車を得ることができ、焼入れ性の比較的低い中炭素鋼水準と比較しても歯元硬さを大幅に改善することができる。また、回転曲げ疲労強度の面でも中炭素鋼品よりも高い水準とすることができます。さらに、生産ビッチについても、従来の浸炭品に比べて大幅に短縮することが可能であり、効率的に表面硬化歯車を得ることが可能となる。

【0008】次に、第2発明(請求項2に係る発明)による表面処理歯車の製造方法は、铸造または鍛造により製造され、素材調質および機械加工が施された鋼部材を炉内でオーステナイト温度域まで加熱し、その温度域で保持した後、焼入れ硬化させる表面処理歯車の製造方法であって、前記オーステナイト温度域を850~900°Cとし、かつ保持時間を1時間以上とし、その保持中に浸炭性ガスとアンモニアとの混合ガスを炉内に導入することを特徴とするものである。

【0009】前記第1発明においては、鋼部材を炉内でオーステナイト温度域に保持する間、炉中に浸炭性ガスを導入するものであるが、この第2発明においては、浸炭性ガスとともにアンモニアを導入するものである。このアンモニアは高温で瞬時に水素と窒素とに分解し、窒素は炭素と同様に鋼材に浸入して材料の焼入れ性を向上させる効果がある。また、アンモニアは浸炭そのものの反応を活性化させる働きもあり、比較的低温で短時間処理でも表面の硬さを上げる効果がある。

【0010】以上のようにオーステナイト温度域と雰囲

気に1時間以上保持した後、油等による焼入れがなされるが、その時、部材の歪みを低減させるために、金型にて部材を拘束しながら焼入れを行うプレスクエンチを適用するのが好ましい。通常の浸炭プレスクエンチ処理では、浸炭工程(930°C以上) - 焼入れ温度まで下げる均熱化工程(850°C程度) - プレスクエンチ工程の3工程が必要であるが、本発明では、均熱化工程で炭素や窒素の拡散処理を行うため2工程で良い。

【0011】前記各発明において、前記焼入れ硬化後または焼入れ焼戻し後に表面にショットビーニングが施されるのが好ましい。このショットビーニングの適用により表面近傍に高い圧縮残留応力が生成され、これにより曲げ疲労強度の一層の向上が実現される。ショットビーニング条件には特に制限はないが、鉄系材料や超硬材料よりなるショット材を用いてインペラ式やエアー噴射方式でビーニングするのが望ましい。なお、その他必要に応じて焼戻し処理や研磨などの後工程を行っても良い。

【0012】次に、第3発明(請求項5に係る発明)による表面処理歯車の製造装置は、前記第1発明または第2発明に係る製造方法の実施に直接使用される製造装置に関わるものであって、処理品を850°C以上に加熱でき、かつ浸炭性ガスおよびアンモニアが導入できる密閉性に優れた加熱装置と、処理品を拘束しながら焼入れするプレスクエンチ装置と、前記加熱装置からプレスクエンチ装置へ処理品を搬送する搬送装置を備えることを特徴とするものである。

【0013】このような製造装置を用いることにより、処理品をオーステナイト温度域まで加熱・保持して炭素や窒素の拡散処理を行う工程と、処理品を拘束しながら焼入れするプレスクエンチ工程とを連続的に行うことができ、所望の表面処理歯車を効率的に製造することができる。

【0014】次に、第4発明(請求項6に係る発明)による表面処理歯車は、前記第1発明または第2発明に係る製造方法により製造される表面処理歯車であって、歯元表面硬さがH<sub>v</sub> 500以上、歯面表面硬さがH<sub>v</sub> 550以上、歯面表面から0.2mmの範囲の硬さがH<sub>v</sub> 500以上で、歯車ベース円上の内厚中心部の硬さがH<sub>v</sub> 300以上であることを特徴とするものである。

【0015】前記第1発明または第2発明に係る製造方法を用いると、歯元表面硬さがH<sub>v</sub> 500以上、歯面表面硬さがH<sub>v</sub> 550以上、歯面表面から0.2mmの範囲の硬さがH<sub>v</sub> 500以上で、歯車ベース円上の内厚中心部の硬さがH<sub>v</sub> 300以上の表面処理歯車を得ることができる。なお、これらの数値にて規定される硬さは、以下に示される3つの強度項目から見て実用上問題のない硬さであると言える。

#### 歯元曲げ疲労強度

一般的なギヤにおいて歯元表面応力は70kg/mm<sup>2</sup>以下に設計されるが、図1(ギヤの噛み合い時に発生す

る歯元の曲げ応力分布を示す図) もしくは図2(図1の応力分布を対応する硬さに換算した結果)に示されるように、歯元の曲げ応力は表面で高く、内部に行くにしたがって減衰する特性を有しており、最表面近傍(例えばモジュール3.5の場合、最表面の0.2mm程度の範囲)での硬さが確保されていれば表面から破損する可能性は実用上少ない。また、材料の焼入れ性を適正にすることにより内部硬さがH<sub>v</sub>300以上あれば内部を起点として破損する可能性も低い。

### (2) 歯面せん断強度

図3には、リングギヤの噛み合い時に発生するせん断応力分布を硬さに換算した結果(面圧150kg/m<sup>2</sup>、モジュール3.5の場合)が示されている。通常のギヤは150kg/mm<sup>2</sup>以下の面圧で設計されるものが最も多いが、この図3によれば、歯面表面から0.2mmの範囲の硬さがH<sub>v</sub>500以上あればせん断応力による内部破損の可能性は少ないことがわかる。また、内部の硬さも歯元同様にH<sub>v</sub>300以上あれば問題ないことがわかる。

### (3) 耐ピッキング強度

歯面損傷の一つであるピッキングについては潤滑剤や表面の面粗さなど硬さ以外の要因も影響するため、硬さだけで強度は決まらないが、通常の表面硬化ギヤでは歯面の表面硬さに比例して耐ピッキング強度が向上するとされているので、通常は高負荷のギヤでH<sub>v</sub>700以上(浸炭)、中低負荷のギヤでH<sub>v</sub>500以上(窒化)の硬さで実用上問題は少ない。

【0016】また、第5発明(請求項7に係る発明)による表面処理歯車は、前記第2発明に係る製造方法により製造される表面処理歯車であって、表面から0.1mm以上の範囲内で窒素の浸入が認められ、旧オーステナイト結晶粒サイズがJIS-G0551の粒度番号9番以上であることを特徴とするものである。

【0017】前記第2発明に係る製造方法によれば、加熱時にアンモニア雰囲気中に保持されることにより被処理品表面から窒素の浸入がある。この浸入した窒素は鋼中の、窒素と親和性のある元素(例えばAl)と結合して化合物(例えばAlN)を生成し、その後の焼入れ時にはこの窒化物を核としてマルテンサイト組織が生成される。すなわち、前記窒化物が多数存在することにより多数のマルテンサイトが生じて微細化する。こうして、表面から0.1mm以上の範囲内で窒素の浸入が認められ、旧オーステナイト結晶粒サイズがJIS-G0551の粒度番号9番以上の表面処理歯車を得ることができる。この結晶粒サイズは材料の韌性や疲労強度と密接な関係があり、小さい結晶粒では亀裂の進展方向は常にジグザグになって亀裂が進展しにくく、結果として疲労強度が向上することになる。これに対して粗大粒では1回の亀裂の進展長さも長く、亀裂の方向転換の回数が少ないと、亀裂が進展しやすい。

### 【0018】

【実施例】次に、本発明による表面処理歯車とその製造方法、製造装置の具体的な実施例について、図面を参照しつつ説明する。

【0019】最初に、本実施例で使用する鋼材について述べる。この鋼材は、焼入れによって内部硬さをH<sub>v</sub>300以上に硬化させる必要があることから、歯車のマス効果を考慮してCr, Mn, Si, Mo, Niなどの焼入れ性向上成分を調整する必要がある。一方、焼入れ歪みを低減するためには、マルテンサイト変態時の変態膨張が少なくなるような材料成分にするか、全体の変態量を適量にすることが肝要であり、例えば歯車の必要な表面部は硬化されても、歯中央部は焼入れされないか、または焼入れされても歪みが少ない低炭素(0.3%以下)にするのが好ましい。また、リングギヤは、鋼材素材に対してロール鍛造を行い、リング形状にした後に機械加工にてギヤ形状に加工されるが、このロール鍛造時には丸棒や角材素材の中心部に存在する材料欠陥、例えば介在物や偏析、未圧着部(マイクロポリシティ)がリングギヤの内面に回り込み、丁度内歯車の歯部にその欠陥部が移動する可能性が高い。このような材料欠陥はギヤの疲労強度を低下させることになるが、素材の炭素量が減少するほど、精錬工程でこの中心部の介在物を減少させることができあり、この観点からも素材炭素量を0.3%以下にするのが望ましい。なお、他の成分については前述のようにワークのマスを元に適合金成分を添加させるものとする。以下に、代表的な成分の範囲について示す。

【0020】C: 0.1~0.3%

30 Cは、前述のように内部硬さを下げて低歪み化させるとともに、中心部の材料欠陥を低減するために、0.3%以下にするのが良い。また、0.1%以下では焼入れ性に及ぼす効果が少ない。

Si: 0.1~1.0%

Siは、脱酸、焼入れ性向上に有効な元素であり、0.1%未満では所望の効果が得られず、1%を超えると炭素の浸入を阻害するので上限を1%とするのが良い。

Mn: 0.3~2%

40 MnもSiと同様に脱酸、焼入れ性向上に有効であるが、0.3%未満ではその効果が乏しく、2%を超えるとその効果が飽和する。

P: 0.03%以下

韌性の低下を防止するために0.03%を上限とするのが良い。

S: 0.1%以下

Sは特に添加の必要はないが、S添加により切削性の向上が得られる。ただし、0.1%を超えると韌性が頭著に低下する。

Ni: 2%以下

50 特に添加の必要はないが、韌性向上効果がある。しか

し、2%以上ではコストが嵩む反面、効果も飽和する。

Cr: 0.1~2%

焼入れ性向上とともに、強度および韌性の向上効果があるため、0.1%を加減として添加するのが良い。なお、2%を超えると効果が飽和する。

Mo: 0.4%以下

Crと同様の効果があるが、0.4%を超えると切削性の低下やコストの問題がある。

B: 0.005%以下

添加しなくても良いが、焼入れ性の向上のほかに粒界を強化する効果がある。

Ti: 0.05%以下

添加しなくても良いが、炭窒化物を生成し、オーステナイト粒の微細化効果がある。しかし、0.05%以上では効果が飽和する。

V: 0.1%以下

Tiと同様に微細化効果があるが、0.1%以上では効果が飽和する。特に添加の必要はない。

Nb: 0.05%以下

Ti, Vと同様な効果があるが、効果が飽和する0.05%以下とするのが良い。

A1: 1%以下

A1はA1Nによる結晶粒粗大化防止として機能するが、1%を超えると900°C以下ではフェライト層が混在するようになるため、1%以下とするのが良い。

【0021】(実施例1)鍛造もしくは鋳造等により製造された鋼素材(材質SCM420H)に必要に応じて調質を行い、その後リングギヤに機械加工する。この後、この部材を850°C(オーステナイト温度域)まで加熱し、その温度域にて1時間以上保持する。この温度に加熱保持する間、炉内に浸炭性ガスである吸熱型ガス(RXガス)を導入して炉内を弱浸炭性雰囲気にする。なお、この雰囲気を本実施例では「光輝焼入れ」と定義している。次いで、油焼入れ処理を施し、160°Cに焼戻し処理を施す。

【0022】(実施例2)鍛造もしくは鋳造等により製造された鋼素材(材質SCM420H)に必要に応じて調質を行い、その後リングギヤに機械加工する。この後、この部材を850°C(オーステナイト温度域)まで加熱し、その温度域にて1時間以上保持する。この温度に加熱保持する間、炉内に浸炭性ガスである吸熱型ガス(RXガス)とアンモニアとをアンモニアの体積分率で20%になるように混合したものを導入する。次いで、油焼入れ処理を施し、160°Cに焼戻し処理を施す。

【0023】(実施例3)鍛造もしくは鋳造等により製造された鋼素材に必要に応じて調質を行い、その後リングギヤに機械加工する。この後、この部材を850°C(オーステナイト温度域)まで加熱し、その温度域にて1時間以上保持する。この温度に加熱保持する間、炉内に浸炭性ガスである吸熱型ガス(RXガス)とアンモニ

アとをアンモニアの体積分率で20%になるように混合したものを導入し、次いで、油焼入れ処理を施し、160°Cに焼戻し処理を施す。その後、直径0.8mmのスチールショットによるショットビーニングを行う。なお、内歯車であるリングギヤのような歯車の場合には、内側の歯車面に均等にビーニング処理を施すことは言うまでもない。

【0024】(実施例4)実施例3と同様の条件で熱処理を施した後、直径0.1mmのスチールショットにてショットビーニングする。

【0025】(比較例1)中炭素鋼(S50C)よりなるリングギヤを850°Cで1時間の光輝焼入れ焼戻し処理を施す。

【0026】(比較例2)実施例1, 2と同じ材質(SCM420H)の鋼材よりなるリングギヤを930°Cで7時間の浸炭処理を施した後、850°Cより油焼入れ処理を施し、160°Cに焼戻し処理を施す。

【0027】図4、図5には、前述の実施例1, 2および比較例1, 2による歯元硬さ分布および歯面硬さ分布がそれぞれ示されている。また、図6、図7には、実施例1, 2による処理品表面の金属組織および旧オーステナイトの結晶粒界を示す顕微鏡写真がそれぞれ示されている。なお、図6、図7において(a)は実施例1、(b)は実施例2をそれぞれ示している。

【0028】これらの図から明らかなように、実施例1, 2では、浸炭品(比較例2)ほど深い領域まで硬化されていないが、必要な歯元硬さ(歯元表面硬さがH<sub>v</sub>500以上)、歯面硬さ(歯面表面硬さがH<sub>v</sub>550以上で、歯面表面から0.2mmの範囲の硬さがH<sub>v</sub>500以上)が得られていることがわかる。また、焼入れ性の比較的低い中炭素鋼水準(比較例1)と比較しても歯元硬さが大幅に改善されていることがわかる。なお、実施例2のもの(アンモニアを同時に導入したもの)は、実施例1のもの(浸炭ガスのみのもの)に比べて高い表面硬さが得られていることがわかる。

【0029】実施例2においては、加熱時にアンモニア雰囲気中に保持されることにより被処理品表面から窒素が侵入する。この侵入した窒素は鋼中の窒素と親和性のある元素(例えばA1)と結合して窒化物(例えばA1N)を生成し、その後の焼入れ時にその窒化物を核としてマルテンサイト組織が生成される。すなわち、この窒化物が多数存在することにより多数のマルテンサイトが生じて微細化する。図7(b)に示されている顕微鏡写真において、表面部にグレー色に見える部分が、この微細化によって明確な結晶粒が見えにくくなっている結果である。この結晶粒サイズは材料の韌性や疲労強度と密接な関係があり、小さい結晶粒では亀裂の進展方向が常にジグザグになって亀裂が進展していく、結果として疲労強度が向上する。これに対して、粗大粒では1回の亀裂の進展長さも長く、亀裂の方向転換の回数も少ないため、

亀裂が進展し易い。

【0030】図8には、実施例1、2、3、4および比較例1、2のもの（但し平滑材）についての回転曲げ疲労試験の結果（10<sup>7</sup>回疲労限強度）が示されている。この図から明らかのように、実施例1、2では、比較例1の中炭素鋼品よりも高い強度が得られていることがわかる。特にアンモニアを導入した実施例2では比較例2（浸炭品）に近い強度が得られている。また、実施例3、4のようにアンモニアを導入して焼入れ焼戻しを施した後にショットビーニングを適用した場合には、比較例2の浸炭を超える強度が得られていることがわかる。

【0031】図9には、実施例1、2、3、4の回転曲げ疲労試験片の断面の残留応力分布が比較例1、2と比較して示されている。この図から明らかのように、実施例3、4では高い圧縮残留応力が生成され、特に実施例4では亀裂の発生位置である最表面部に非常に高い圧縮残留応力が生成されていることがわかる。この最表面部の高い圧縮残留応力が疲労亀裂の進展抑制に効果があり、これにより表面部が高強度化したものと考えられる。

【0032】また、薄肉のリングギヤについて焼入れ（プレスクエンチ）後の梢円歪みを比較したところ、中炭素鋼（0.5%C鋼）の850°C×1時間浸炭では最大歪みが0.3mmであるのに対し、本実施例における0.2%C低炭素鋼の850°C×1時間浸炭では1/3の0.1mm以下の精度が得られることが確認され、浸炭と比較しても同等以下の歪み量に低減することができた。

【0033】また、生産ピッチに関しても、従来の浸炭品が7時間程度要していたのに対し、本実施例では2時間未満で加熱から焼入れまでを完了させることができ、表面硬化歯車が効率的に得られることも確認できた。

【0034】図10には、実施例2の焼入れ方法としてプレスクエンチを適用した場合の連続式浸室プレス焼入れ装置の構成例が示されている。この装置においては、処理前ストッカ1、加熱装置2、プレスクエンチ装置3および処理後ストッカ4が搬送装置5、6、7により連\*

\* 結され、加熱装置2内でアンモニアまたはアンモニアと窒素ガス、アンモニアと浸炭性ガスが導入されるように構成されている。なお、図中符号8にて示されるのはアンモニア分析計である。ここで、搬送装置5、6、7としては、チェーン式のものまたはローラハース式のものが用いられる。このほかに、ロボット等によるハンドリングを用いても良い。また、加熱装置2とプレスクエンチ装置3とは処理品が窒素雰囲気中で移動するように一つの部屋にすることも可能である。

10 【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、ギヤの噛み合い時に発生する歯元の曲げ応力分布を示す図である。

【図2】図2は、曲げ疲労強度確保に必要な硬さ分布を示す図である。

【図3】図3は、ギヤの噛み合い時に発生するせん断応力分布を硬さに換算した値を示す図である。

【図4】図4は、実施例および比較例の歯元硬さ分布を示す図である。

【図5】図5は、実施例および比較例の歯面硬さ分布を示す図である。

【図6】図6は、実施例1、2による処理品表面の金属組織を示す顕微鏡写真である。

【図7】図7は、実施例1、2による旧オーステナイト結晶粒界の金属組織を示す顕微鏡写真である。

【図8】図8は、実施例および比較例の回転曲げ疲労強度を示す図である。

【図9】図9は、実施例および比較例の残留応力分布を示す図である。

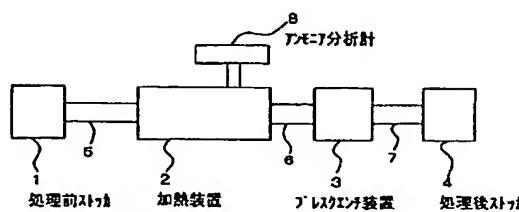
【図10】図10は、連続式浸室プレス焼入れ装置の構成例を示す図である。

20 【符号の説明】

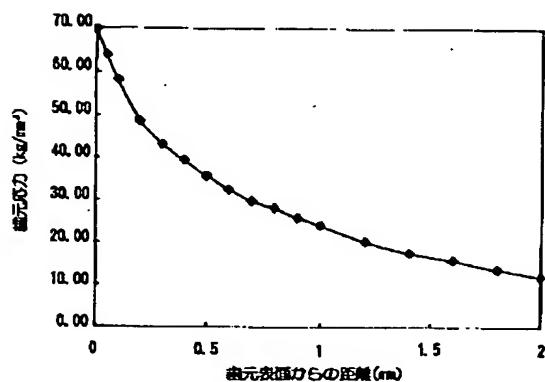
1	処理前ストッカ
2	加熱装置
3	プレスクエンチ装置
4	処理後ストッカ
5, 6, 7	搬送装置
8	アンモニア分析計

【図10】

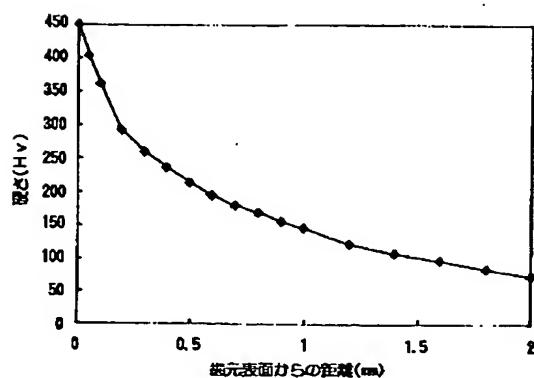
連続式浸室プレス焼入れ装置の構成例



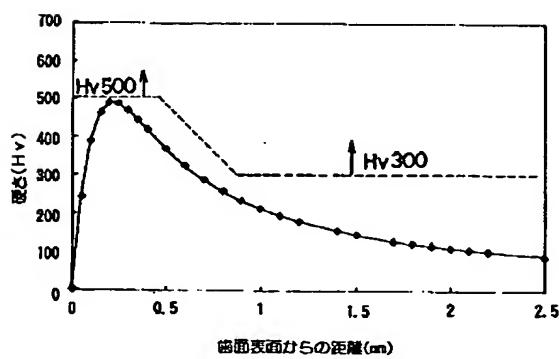
【図1】

歯元の曲げ応力分布(表面応力70kg/mm<sup>2</sup>の場合)

【図2】

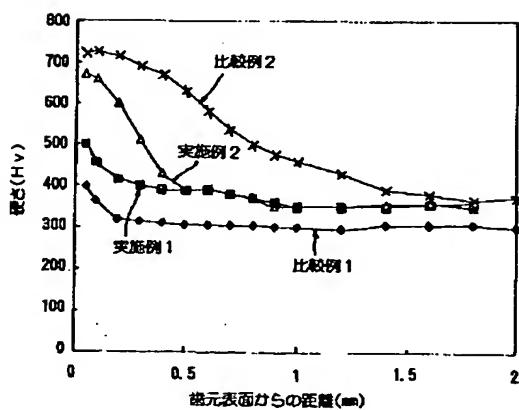
曲げ疲労強度確保に必要な硬さ分布(表面応力70kg/mm<sup>2</sup>の場合)

【図3】

せん断応力分布の硬さ換算値  
(面圧150kg/mm<sup>2</sup>, モジュール3.5の場合)

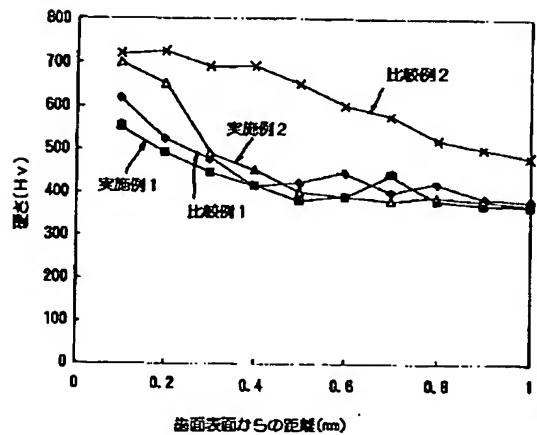
【図4】

歯元硬さ分布を示す図

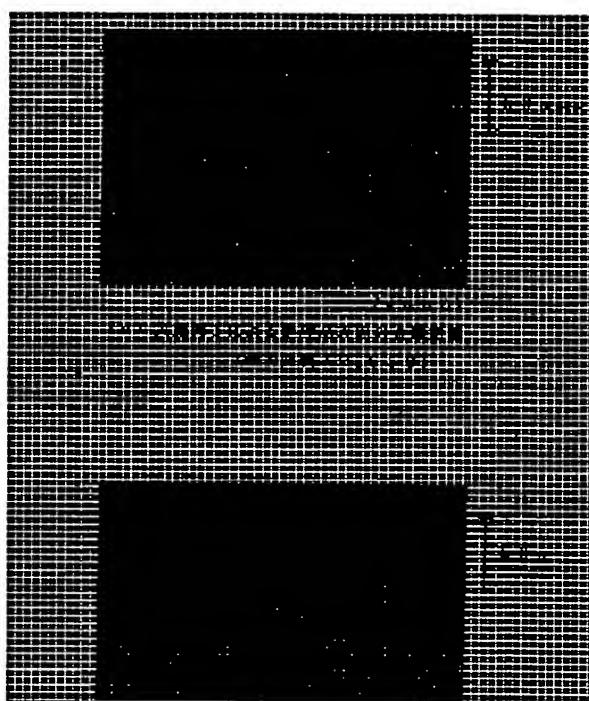


【図5】

歯面硬さ分布を示す図

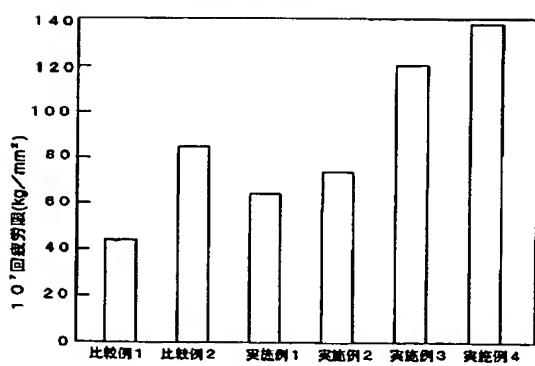


【図6】



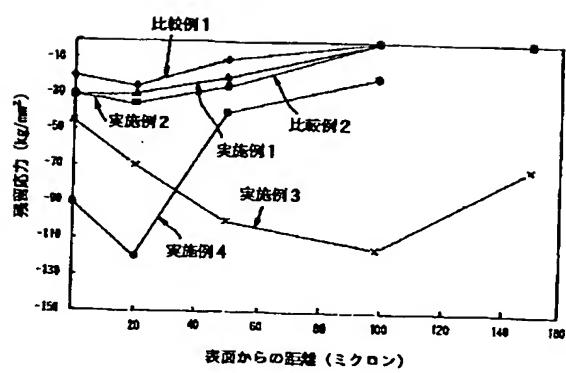
【図8】

回転曲げ疲労強度(平滑材)



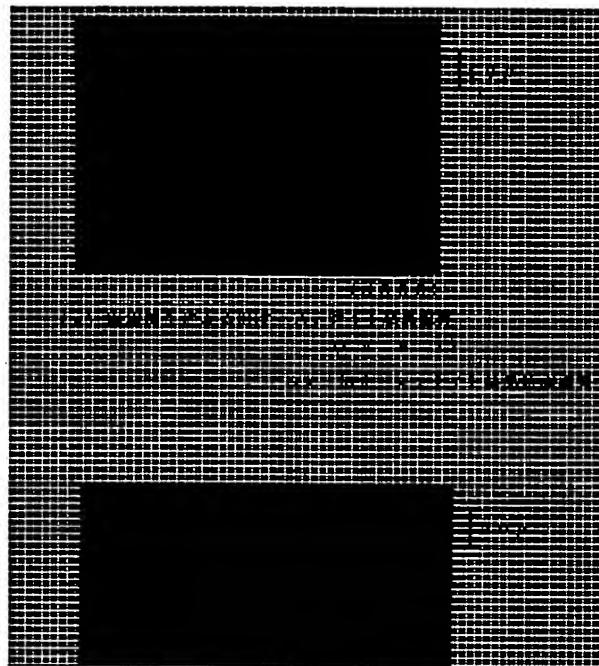
【図9】

残留応力分布



BEST AVAILABLE COPY

【図7】



---

フロントページの続き

(51) Int.CI.7

C 2 1 D 9/32

識別記号

F I

C 2 1 D 9/32

テーマコード(参考)

A

**BEST AVAILABLE COPY**